پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای در حوزه آبخیز صفارود

امیر اسحاقی[۱]، بهارک معتمدوزیری[۲]، سادات فیض‌نیا[۳]

چکیده

تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای و شناسایی نواحی مستعد و دارای پتانسیل بالای خطر وقوع این پدیده، یکی از اقدامات اولیه در مدیریت منابع‌طبیعی و کاهش خسارات ناشی از این پدیده‌ها محسوب می‌گردد. در تحقیق حاضر که با هدف پهنه‌بندی خطر وقوع حرکت‌های توده‌ای در حوزه آبخیز صفارود به وسعت 135 کیلومتر مربع صورت گرفت، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس 1:25000 ، نرم افزار ArcGIS9.3 ، کنترل میدانی و تفسیر عکس‌های هوایی، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز نظیر نقشه‌های زمین‌شناسی، طبقات ارتفاعی، زاویه شیب، جهت شیب، بارندگی متوسط سالیانه، بارندگی حداکثر 24 ساعته با دوره بازگشت 100 ساله، حداکثر شتاب زلزله، فاصله از آبراهه‌ها و رودخانه‌ها و فاصله از جاده تهیه شد. سپس با استفاده از روش آماری چند متغیره خطی، وزن و نقش عوامل مختلف مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای تعیین شده و نهایتاً نقشه پهنه‌بندی خطر حوزه تهیه گردید. نتایج حاکی از این بود که 56/28 درصد از سطح حوزه دارای کلاس‌های خطر زیاد و بسیار بوده‌اند که این مناطق، در نزدیکی جاده‌ها، آبراهه‌ها و گسل‌ها، بر روی سازندهای زمین‌شناسی محتوی لایه‌های سیلت سنگ، شیل، ماسه سنگ، کنگلومرا و ذغال، در شیب‌های 15 تا 35 درجه و ارتفاعات متوسط (1000 تا 1500 متر از سطح دریا) حوزه که دارای بارندگی زیاد (بیش از 850 میلی‌متر) هستند، واقع شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: **حرکت‌های توده‌ای زمین، نقشه پهنه‌بندی خطر، روش‌آماری چندمتغیره، سیستم اطلاعات جغرافیایی**

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
amir.eshaghi@gmail.com
۲- استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
۳- استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی دانشکده منابع‌طبیعی دانشگاه تهران

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مقدمه

بلایای طبیعی، به‌عنوان بزرگترین دشمن طبیعی انسان، باعث کشته و مجروح شدن سالانه صدها هزار تن و بی‌خانمان شدن میلیون‌ها نفر در سراسر جهان می‌شوند. از این رهگذر، حرکت توده‌ای به‌عنوان یکی از معضلات جهانی پیش روی انسان که همواره در سراسر جهان باعث تلفات جانی سالانه هزاران نفر و وارد آمدن خسارات سنگین مالی و اقتصادی به مناطق مسکونی می‌شود، دارای اهمیت خاصی می‌باشد. خصوصاً که با افزایش جمعیت و اسکان در مناطقی که مستعد حرکت توده‌ای هستند، آمارهای جهانی تلفات و خسارات مالی ناشی از این پدیده‌ها، پیوسته در حال افزایش می‌باشد. در کشور ایران با شرایط متنوع زمین‌شناسی، توپوگرافیک، آب و هوایی و کاربری اراضی که از لحاظ سایزموتکتونیک (لرزه‌ای ساختمانی) یکی از فعال‌ترین پهنه‌ها در کمربند چین‌خوردگی آلپ هیمالیا می‌باشد، حرکت توده‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پدیده همه ساله در اکثر استان‌های کشور، سبب وارد آمدن خسارت‌های اقتصادی به جاده‌ها، خطوط آهن، خطوط انتقال نیرو، کانال‌های آبیاری و آبرسانی، تأسیسات معدنی، تأسیسات استخراج و پالایش نفت و گاز، و کارخانه‌ها و مراکز صنعتی شده و موجب تخریب جنگل‌ها، مراتع و اراضی کشاورزی، تسریع فرسایش و انتقال گسترده رسوبات به پشت سدها می‌گردد. با توجه به این مسایل، به جرأت می‌توان گفت که از جمله حساس‌ترین و مهمترین مسایل در پروژه‌های عمرانی، مطالعه پایداری دامنه‌ها می‌باشد و با پهنه‌بندی خطر وقوع حرکت‌های توده‌ای، می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل بالای خطر را شناسایی نموده و با ارایه راه‌حل‌ها و شیوه‌های مدیریت مناسب، تا حدی از وقوع حرکتهای توده‌ای جلوگیری نمود و یا از خسارات ناشی از وقوع آنها کاست [۷] .

نئوهاوزر و ترهوست[1] (۲۰۰۶)، اقدام به ارزیابی پایداری دامنه‌ها در برابر حرکت توده‌ای در جنوب شرقی آلمان نمودند و به این نتیجه رسیدند که مناطق مستعد وقوع حرکت توده‌ای، دارای شیب بین ۱۱ تا ۲۶ درجه بوده و متشکل از سنگ‌های آهکی، خاک‌های رسی و کوهرفت‌های سیلتی می‌باشند. دایموند و همکاران[2] (۲۰۰۶)، در یکی از مناطق نیوزیلند، اقدام به پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای رخ داده در طی طوفان سال ۲۰۰۴ نموده‌اند. بررسی‌ها مشخص کردند که مناطق پرخطر در شیب‌های ۵ تا ۳۰ درجه و در اطراف خطوط زهکشی و نیز در جنگل‌های تخریب شده واقع شده‌اند [۳]. معتمدوزیری و کورکی‌نژاد[3] (۲۰۰۶)، اقدام به پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای در حوزه آبخیز سیاه‌رودبار واقع در استان گرگان، با استفاده از روش‌های مورا وارسون، حائری سمیعی و آماری چندمتغیره، نمودند و ضمن تأیید دقت بالاتر روش-آماری چندمتغیره در پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای، به این نتیجه رسیدند که مناطق پر خطر حوزه در نزدیکی گسل‌ها، جاده‌ها و آبراهه‌ها و بر روی شیب‌های تند قرار گرفته‌اند [۱۱]. نفسلیوگلو و همکاران[4]

[1] **Neuhause and Terhorst**
[2] **Dymond, et al**.
[3] **Motamedvaziri and Koorkinejad**
[4] **Nefeslioglu, et al**.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

(۲۰۰۸)، با استفاده از روش آماری چندمتغیره اقدام به پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای در حوزه آبخیز ایسپیر (واقع در شمال شرقی ترکیه) نمودند و نتیجه گرفتند که مناطق پرشیب و نزدیک به جاده‌ها و ارتفاعات متوسط، در کلاس‌های خطر زیاد وبسیار زیاد قرار دارند [۱۲]. چانگ و همکاران[1] (۲۰۰۸)، به پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای در حوزه آبخیز هوشه (در مرکز تایوان) با استفاده از روش آماری چند متغیره اقدام نمودند. نتایج حاکی از این بود که مناطق پرخطر در نزدیکی آبراهه‌ها و دور از خط‌الرأس‌ها، در بخش غربی حوزه آبخیز و بر روی سازندهای زمین‌شناسی محتوی لایه‌های شیل و ماسه سنگ، واقع شده‌اند[۹]. یالچین[2] (۲۰۰۸)، با پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای به وقوع پیوسته در حوزه آبخیز آردیسن (واقع در شمال شرقی ترکیه) بدین نتیجه رسید که کلاس‌های پرخطر در شیب‌های ۲۰ تا ۴۰ درجه و در مناطق چایکاری شده دارای سنگ‌های کاملاً هوازده واقع شده‌اند [۱۶]. کمپ و همکاران[3] (۲۰۰۸)، اقدام به پهنه-بندی خطر حرکت‌های توده‌ای منطقه کشمیر پاکستان نموده و دریافتند که اغلب حرکت‌های توده‌ای در سازندهای از جنس شیل، اسلیت، آهک و دولومیت شدیداً درز و شکافدار، در دامنه‌های جنوبی در معرض بارش‌های موسمی تابستانی با شیب ۲۵ تا ۳۵ درجه، در ارتفاع متوسط (۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر از سطح دریا)، در بوته‌زارها و علفزارها و همچنین در امتداد رودخانه‌ها و جاده‌ها رخ داده‌اند [۱۰]. تنگستانی (۲۰۰۹)، پس از پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای در حوزه آبخیز کاکان (واقع در شمال غربی شیراز) به این نتیجه دست یافت که مناطق پرخطر در دامنه‌های شمالی و غربی منطقه که دارای شیب نسبتاً زیاد و خاک عمیق می‌باشند و جنس سازند آنها مارن و شیل می‌باشد، واقع شده‌اند [۱۵]. حسن‌زاده نفوتی (۱۳۷۹)، با استفاده از روش آماری چند متغیره، منطقه سلمانرود واقع در استان گیلان را پهنه‌بندی نموده و نتیجه‌گیری کرد که روش آماری چند متغییره دارای کاربرد مناسب برای پهنه‌بندی خطر وقوع حرکت توده‌ای می‌باشند و نتایج این روش حاکی از تطابق مناطق پرخطر بر مناطقی است که در آنها اقدام به جاده‌سازی غیر اصولی شده‌است [۲]. احمدی و محمدخان (۱۳۸۱)، پس از پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای حوزه آبخیز طالقان به این نتیجه دست‌یافتند که مناطق پرخطر، به جای شیب‌های شمالی در شیب‌های جنوبی اتفاق افتاده‌اند؛ با بررسی عوامل دیگر مشخص شد که در این منطقه گسل‌ها و رورانگی‌های فعالی وجود دارند که نقش جهت شیب را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از سوی دیگر، مناطق پرخطر دارای شیب‌های ۱۰ تا ۲۵ و ۴۰ تا ۶۰ درصد بوده‌اند [۱]. فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۳)، اقدام به پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای حوزه آبخیز شیرین-رود نمودند و به این نتیجه دست‌یافتند که مناطق پرخطر منطبق بر مناطق دارای کاربری‌های نامناسب و ارتفاعات متوسط هستند[۵]. شادفر و همکاران (۱۳۸۶)، اقدام به پهنه‌بندی حرکت توده‌ای در حوزه آبخیز

[1] **Chang, et al**.

[2] **Yalchin**

[3] **Kamp, et al**.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

چالکرود واقع در شهرستان تنکابن نمودند. نتایج حاکی از این بود که مناطق پرخطر، منطبق بر مناطق پرشیب هستند [۴]. کورکی‌نژاد (۱۳۸۷)، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع حرکت‌های توده‌ای در حوزه آبخیز الموت‌رود نمود. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده این بود که روش آماری چند متغیره دقت خوبی در تهیه نقشه خطر حرکت توده‌ای دارد و مناطق پرخطر بر روی سازند روته (متشکل از سنگ آهک ریزدانه) و واحد سنگی PC**Error! Bookmark not defined.**[1] (متشکل از ماسه سنگ، سیلت سنگ، گلسنگ و شیل)، در شیب‌های شمالی و غربی ۱۵ تا ۲۵ درجه، در نزدیکی گسل‌ها، جاده‌ها و آبراهه-ها و در مراتع فقیر و متوسط واقع شده‌اند [۶]. در تحقیق حاضر نیز، با استفاده از روش آماری چند متغیره، نقشه پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای منطقه تهیه گردیده و مناطق پرخطر شناسایی شده‌است.

منطقه مورد مطالعه، حوزه‌آبخیز صفارود واقع در غرب استان مازنداران، جنوب شهرستان رامسر، می-باشد. حوزه آبخیز صفارود با وسعت ۱۳۵ کیلومتر مربع، در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۹ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه و ۸ ثانیه عرض شمالی واقع شده‌است.

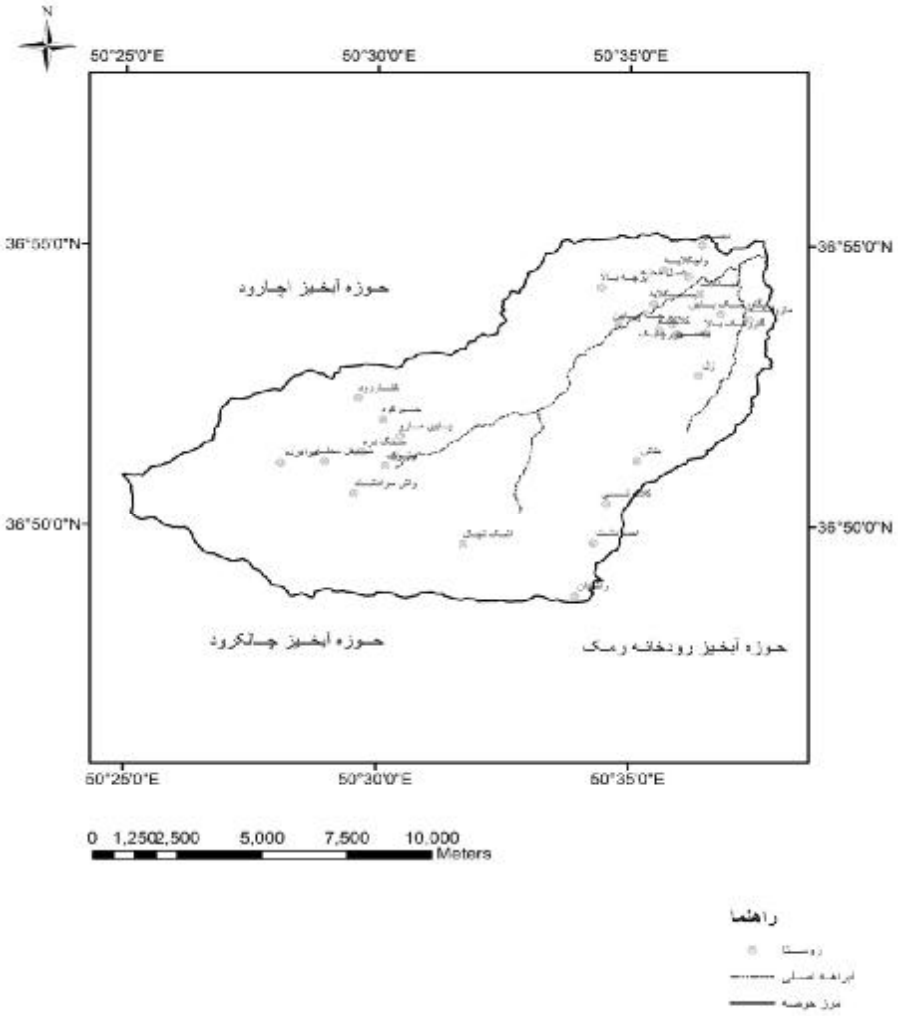
این حوزه از شمال به دریای خزر، از غرب به حوزه آبخیز اچارود، از شرق به حوزهٔ آبخیز رودخانه رمک و از جنوب به حوزه آبخیز چالکرود محدود گردیده‌است (شکل۱).

ارتفاع متوسط وزنی حوزه ۱۵۲۰ متر، حداقل و حداکثر ارتفاع حوزه ۷۰ و۳۵۶۰ متر از سطح دریا و شیب متوسط وزنی حوزه ۴۰/۱۸ درصد می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه حوزه ۹۵۶ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالانه حوزه ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد، حداکثر و حداقل درجه حرارت حوزه ۳۵ و ۱۰- درجه سانتی‌گراد و اقلیم حوزه بر اساس روش آمبرژه مرطوب معتدل و بر اساس روش دومارتن مرطوب است. متوسط دبی سالانه جریان حوزه ۲/۲ مترمکعب بر ثانیه و بیشترین دبی حداکثر لحظه‌ای حوزه ۲/۲۹۶ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. گسل اصلی موجود در منطقه، گسل بیناکسر بوده و یکی از فراوان‌ترین و ساده-ترین ساخت‌های تکتونیک حوزه، درزه‌ها است. سازندهای زمین‌شناسی موجود در حوزه، puv[۲]، سازند نسن یا pn [۳] ، سازند الیکا یا Tredl [۴]، سازند TR3J [۵]، سازند جواهرده یا J1-2C [۶]، سازندJK1 [۷]، سازند Qs [۸] و سازند Qt2 [۹]می‌باشند. کاربری‌های اراضی حوزه نیز شامل جنگل، مرتع، زراعت دیم و باغات می‌باشد که کاربری جنگل حدود ۷۴ درصد از مساحت منطقه را دربرگرفته‌است.

---

[1] متشکل از ماسه سنگ، سیلت سنگ، گلسنگ و شیل
[2] سنگهای آتشفشانی مایل به ارغوانی
[3] سنگ آهک چرت دار خوب لایه بندی شده خاکستری تیره همراه با میان لایه هایی از شیل و آهک دولومیتی
[4] دولومیت خاکستری روشن تا کرم
[5] تناوبی از سیلت سنگ، شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا همراه با عدسی ها و لایه هایی از ذغال
[6] کنگلومرای خاکستری تیره پلی میکتیک همراه با میان لایه هایی از سیلتستون، ماسه سنگ و ذغال
[7] توده خاکستری تا کرم سنگ آهک همراه با دانه ها و لایه هایی از چرت
[8] سنگریزه و ریزش سنگ
[9] پادگانه های جوان

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل۱- محدوده جغرافیایی حوزه آبخیز صفارود

مواد و روش‌ها

نقشه‌های پراکنش حرکت‌های توده‌ای، در مقیاس‌های متوسط و بزرگتر، به‌عنوان مهمترین ابزار تعیین صحت و دقت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر حرکت توده‌ای می‌باشند. بدین‌منظور، در تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی در این مقیاس‌ها، نقشهٔ پراکنش حرکت‌های توده‌ای تهیه می‌گردند و در مراحل مختلف وزن‌دهی و امتیازدهی به عوامل گوناگون و تعیین کلاس‌های آنها از این نقشه استفاده می‌شود [۳]. جهت تهیهٔ نقشه پراکنش حرکت‌های توده‌ای در محدودهٔ مطالعاتی، کلیهٔ عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ گردآوری و پس از بررسی‌های دفتری و تفسیر استریوسکوپی عکس‌های مذکور، کلیهٔ حرکت‌های توده‌ای شناسایی شده به نقشه درآورده شدند. متعاقباً با انجام بازدید صحرایی، کاستی‌هایی که به‌علت عدم کیفیت مناسب عکس‌ها در تشخیص محدوده‌های گسیختگی، حضور سایه درختان و پستی و بلندی‌ها در عکس و جدید بودن حرکت‌های توده‌ای به وقوع پیوسته در نقشه اولیه وجود داشت، رفع گردید و نقشهٔ اولیه تکمیل گردید. در

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مرحله بعد، عکس‌های هوایی در محیط نرم افزار Arc-GIS زمین مرجع شده و نقشه پراکنش حرکت‌های توده‌ای حوزه تهیه گردید.

جهت پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای منطقه مورد مطالعه، اقدام به تهیه نقشه‌هایی از قبیل: مدل رقومی ارتفاعی حوزه (Digital elevation model) [1]، شبکه جاده‌ها، فاصله از جاده‌ها، شبکه آبراهه‌ای، فاصله از آبراهه‌ها، مقدار شیب، جهت شیب، هیپسومتریک، همباران متوسط سالانه، همباران حداکثر بارندگی ۲۴ساعته بادوره بازگشت ۱۰۰ساله، سازندهای زمین‌شناسی حوزه، محدوده گسل‌های حوزه، فاصله از گسل و حداکثرشتاب افقی زمین به g گردید. با توجه به نقشه کاربری اراضی که برای حوزه تهیه شده بود، ملاحظه گردید که قسمت عمده حوزه را کاربری جنگل در بر گرفته‌است. از آنجایی که چه مناطق دارای حرکت و چه مناطق فاقد حرکت دارای کاربری جنگل بودند، چنین نتیجه گرفته شد که کاربری اراضی نقش تعیین کننده‌ای در وقوع حرکت توده‌ای در منطقه مورد مطالعه ندارد. بنابراین در مراحل بعدی از این نقشه جهت پهنه‌بندی استفاده نگردید.

نحوه پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از روش آماری چندمتغیره

پس از بررسی و مطالعه منابع و تحقیقات صورت گرفته در مورد پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای، روش آماری چند متغیره، به‌عنوان مناسب‌ترین روش جهت پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای تشخیص داده شد؛ بنابراین جهت پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای به وقوع پیوسته در حوزه آبخیز صفارود، از این روش استفاده شد. روش آماری چند متغیره، امکان تحلیل همزمان اثر تعدادی متغیر مستقل بر یک متغیر وابسته را فراهم می‌نماید. از آنجایی که پدیده‌های طبیعی نظیر حرکت توده‌ای ناشی از عملکرد همزمان و با اثر متفاوت چند متغیره می‌باشد، لذا استفاده از روش آماری چند متغیره، مناسب می‌باشد [۳، ۶ و ۷]. در این روش، رابطه یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل، به طور همزمان مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. متغیر وابسته نقشه پراکنش حرکت توده‌ای (نشان دهنده میزان خطر حرکت‌های توده‌ای) است و متغیرهای مستقل شامل لایه‌های اطلاعاتی میزان شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه و آبراهه، فاصله از راه، حداکثرشتاب زلزله، متوسط بارندگی سالانه، طبقات ارتفاعی، حداکثر بارندگی ٢٤ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰ساله و پارامتر وابسته سازند زمین‌شناسی می‌باشد. مراحل انجام روش رگرسیون چند متغیره و تهیه مدل آماری چند متغیره به شرح ذیل است:

الف) تبدیل نقشه پراکنش حرکت‌های توده‌ای به نقشه درصد تراکم سطحی در واحدهای مربعی شکل به ابعاد ۲۵۰*۲۵۰ متر

ب) تبدیل نقشه کیفی زمین‌شناسی به یک نقشه کمی، بر مبنای درصد سطحی ناپایداری ثبت شده در محدوده هر یک از کلاس‌های نقشه

ج) ورود اطلاعات به نرم افزار SPSS 16.0 برای انجام مدل گام به گام رگرسیون خطی چند متغیره

[3] – مدل رقومی ارتفاع

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

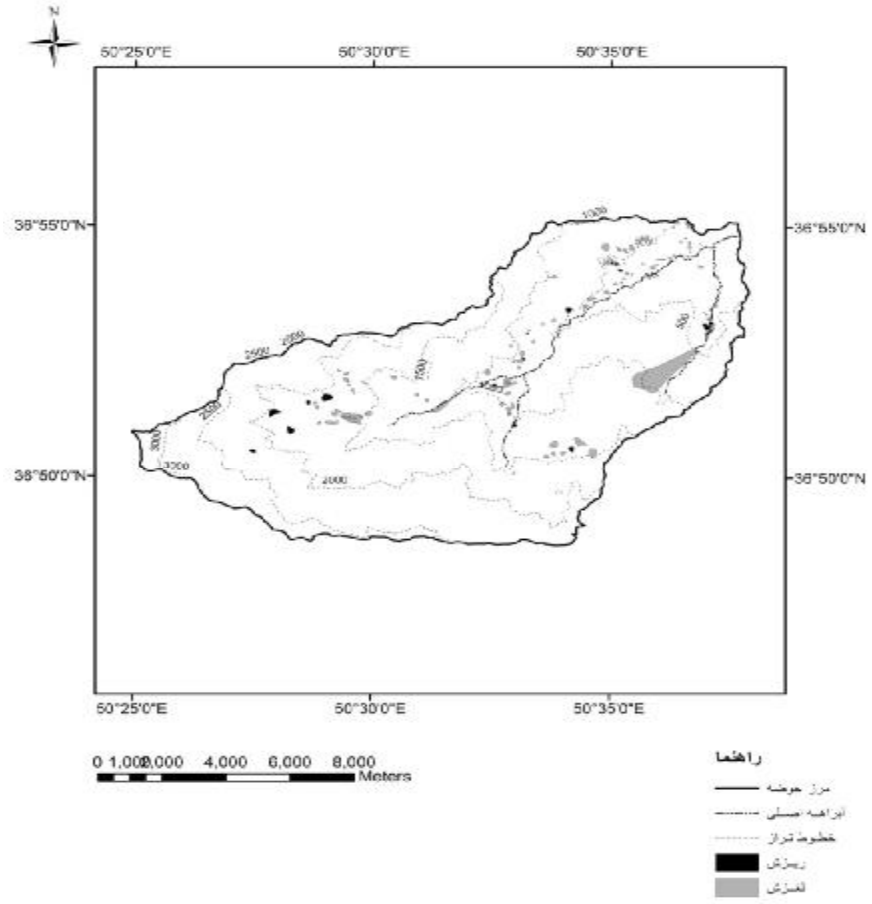
د) استخراج ضرایب مربوط به عواملی که دارای ارتباط معنی‌داری با متغیر وابسته می‌باشند و اعمال ضرایب به‌دست آمده برای لایه‌های مستقل و به‌دست آوردن مقدار خطر محاسباتی

و) تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای که دارای کلاس‌های مختلف خطر اعم از بی‌خطر، خطر خیلی کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی زیاد می‌باشد

پس از انطباق نقشه‌های پهنه‌بندی خطر حرکت توده‌ای در مدل‌های مختلف با نقشه پراکنش حرکت-های توده‌ای حوزه، چنانچه درصد سطحی گسیختگی در کلاس‌های با خطر بالا بیشتر باشد و روند توزیع درصد سطحی گسیختگی، از کلاس‌های کم خطر به سمت کلاس‌های با خطر بالا افزایش یابد ، بیانگر این است که روش پهنه‌بندی خطر حرکت توده‌ای مناسب می‌باشد. اگر این روند بالعکس بوده یا تقریباً به-صورت یکسان باشد، نشان دهنده کارایی ضعیف مدل است [۶].

نتایج تحقیق

به دنبال بازدیدهای صحرایی و تفسیر استریوسکوپیک عکس‌های هوایی حوزه، نقشه پراکنش حرکت‌های توده‌ای حوزه آبخیز صفارود تهیه گردید (شکل۲).



شکل ۲- نقشه پراکنش کلیه حرکت‌های توده‌ای در حوزه

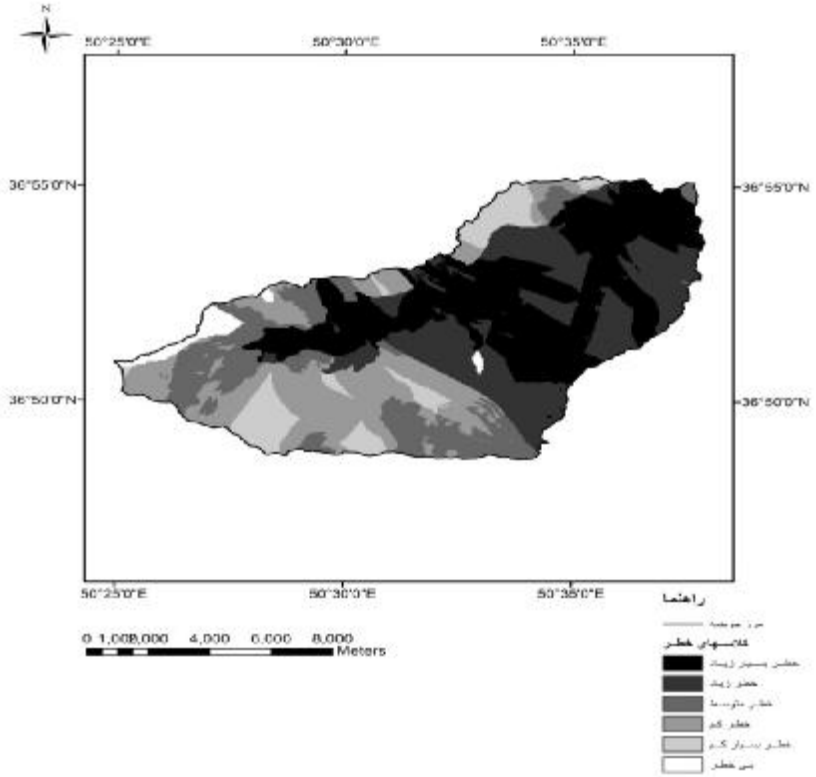
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جهت انجام مدل رگرسیون چندمتغیره، از برنامه SPSS و روش گام به گام استفاده شد. نتایج مدل حاکی از این بود که از بین ۱۰ عامل وارد شده به مدل، به ترتیب، سازند زمین شناسی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از رودخانه و آبراهه، مقدار بارندگی و شیب دامنه، مؤثرترین و مهمترین عوامل می‌باشند. در مرحله بعد با استفاده از این هفت عامل به عنوان متغیر مستقل و درصد سطحی حرکت‌های توده‌ای به‌عنوان متغیر وابسته، اقدام به تعیین بهترین معادله به شکل زیر شد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار می‌باشد.

$$Y = 0.06X1 + 0.037X2 + 0.03X3 + 0.011X4 + 0.01X5 + .007X6 + 0.005X7 - 0.026$$

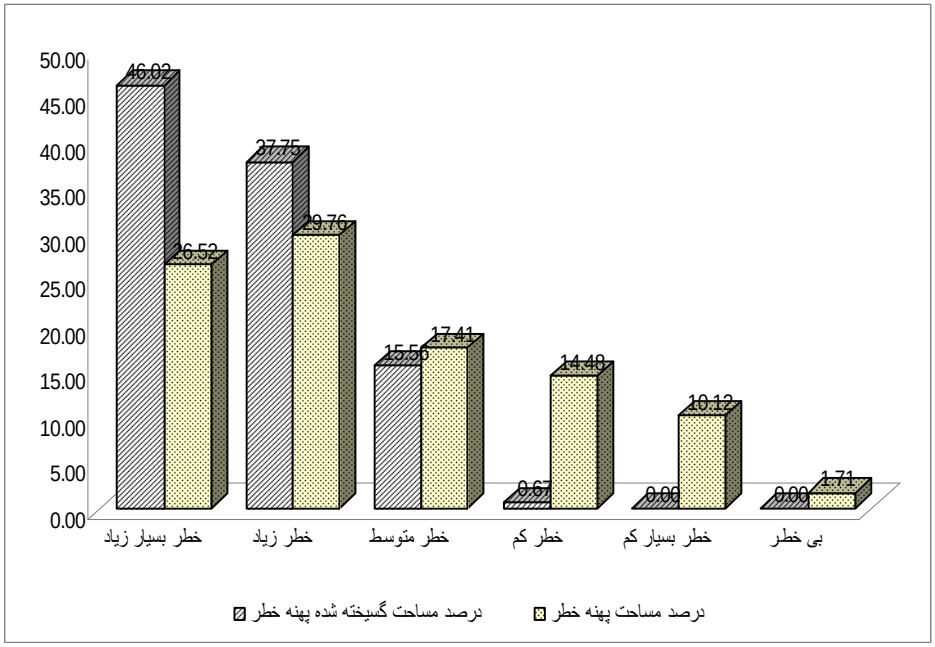
که در آن Y عدد خطر حرکت توده‌ای، X1 سازند حساس زمین شناسی ($TR3j^{ssh}_{2}$)، X2 فاصله از جاده، X3 فاصله از گسل، X4 ارتفاع از سطح دریا، X5 فاصله از رودخانه و آبراهه، X6 مقدار بارندگی و X7: شیب دامنه می‌باشد.

سپس با استفاده از معادله فوق، نقشه پهنه‌بندی خطر حرکت توده‌ای در محیط برنامه Arc-GIS با استفاده از همپوشانی لایه‌ها برای حوزه اصلی تهیه شد (شکل۳). در ادامه، نمودار توزیع کلاس‌های خطر مدل برای حوزه تهیه گردید (شکل ۴). در این نقشه حوزه به پهنه‌های خطر همگن از خطر خیلی زیاد تا بی‌خطر تقسیم‌بندی می‌شود که با استفاده از آن می‌توان خطرناک بودن یا نبودن یک منطقه خاص را تشخیص داده و در مرحله بعدی اقدام به اعمال مدیریت در این مناطق نمود.



شکل ۳- نقشه پهنه بندی خطر حرکت‌های توده‌ای

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل ۴- نمودار توزیع کلاس‌های خطر مدل رگرسیون چند متغیره

در نمودار توزیع کلاس‌های خطر چنانچه درصد سطحی لغزش در کلاس‌های با خطر بالا بیشتر باشد و روند توزیع درصد سطحی لغزش از کلاس‌های کم خطر به سمت کلاس‌های با خطر بالا افزایش یابد و این امر دارای یک روند صعودی باشد، بیانگر این است که روش پهنه بندی خطر زمین لغزش مناسب می باشد. اگر این روند نزولی یا تقریباً به‌صورت یکسان باشد نشان دهنده کارایی ضعیف مدل است.

ارزیابی کارایی نقشه خطر مدل آماری چندمتغیره، براساس انطباق آن با نقشه پراکنش حرکت‌های توده‌ای حوزه (شکل۴) حاکی از روند افزایشی مساحت گسیختگی از کلاس بی‌خطر به کلاس با خطر بسیار زیاد ، و کارایی مناسب مدل است.

بحث و نتیجه‌گیری

هر ساله پدیده حرکت توده‌ای، در مناطق کوهستانی کشور، آسیب‌های قابل توجهی را به مناطق مسکونی، راه‌های ارتباطی و منابع‌طبیعی وارد می‌سازد. بنابراین ضروری است تا مطالعات ویژه‌ای در زمینه شناخت نواحی مستعد وقوع حرکت توده‌ای صورت گیرد که این امر، یکی از گام‌های اولیه در مدیریت منابع‌طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه‌ای و عمرانی است. در حوزه آبخیز صفارود مجموعاً تعداد ۱۳۰ مورد حرکت توده‌ای رخ داده‌است که سطحی معادل ۴/۶ درصد سطح حوزه آبخیز است را در بر می‌گیرند.

در این تحقیق نشان داده شده‌است که مناطق پرخطر (کلاس‌های با خطر زیاد و بسیار زیاد) در اطراف جاده‌ها، آبراهه‌ها و گسل‌ها، بر روی سازند زمین‌شناسی $TR3j^{ssh}_{2}$ [1] در کلاس‌های شیب ۱۵ تا ۲۵ و ۱۵ تا

[1] متشکل از تناوبی از سیلت سنگ، شیل، ماسه سنگ و کنگلومرا همراه با عدسی ها و لایه هایی از ذغال

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

۳۵ درجه، در ارتفاعات متوسط، در مناطق با بارندگی زیاد (بیش از ۸۵۰ میلی‌متر) واقع شده‌اند. این یافته‌ها با نتایج نئوهاورز و ترهوست (۲۰۰۶)، دایموند و همکاران (۲۰۰۶)، معتمدوزیری و کورکی‌نژاد (۲۰۰۶)، نفسلیوگلو و همکاران (۲۰۰۸)، چانگ و همکاران (۲۰۰۸) ، کمپ و همکاران (۲۰۰۸)، یالچین (۲۰۰۸)، تنگستانی (۲۰۰۹)، حسن زاده نفوتی (۱۳۷۹)، احمدی و محمدخان (۱۳۸۱)، فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۳)، شادفر و همکاران (۱۳۸۶) و کورکی نژاد (۱۳۸۷) هم راستا می‌باشد. نتایج مطالعات مربوط به جهت شیب نشان داده‌است که شیب‌های شرقی، شمال‌شرقی و جنوب‌شرقی به‌ترتیب دارای بیشترین میـزان حرکـت توده‌ای می‌باشند که با نتایج حاصل از مرور منابع (به‌جز مطالعه احمدی و محمدخان،۱۳۸۱) همخـوانی نداشته است. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که باید عامل دیگری در منطقه وجود داشته باشد که نقش جهت را پوشش داده‌است. با توجه به بررسی سایر عوامل در دامنه‌های مذکور، این نتیجه حاصل شد که علت اصلی غالب‌بودن حرکات توده‌ای در این دامنه‌ها، احداث جاده است. بررسی ارتباط کاربری اراضی و حرکت توده‌ای نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین وقوع حرکت توده‌ای با کاربری اراضی وجود ندارد. علت این امر، غالب‌بودن کاربری جنگل در حوزه مورد مطالعه می‌باشد؛ به‌طوری‌که حدود ۷۵ درصد منطقه را پوشش جنگلی در بر می‌گیرد.

عوامل سازند زمین‌شناسی، شیب، طبقات ارتفاعی، بارندگی و شبکه آبراهه‌ها که جزو عوامل اصلی وقوع حرکت توده‌ای در حوزه می‌باشند، غیر قابل تغییرند؛ این در حالی است که عامل جاده که مهمترین عامل وقوع حرکت توده‌ای در حوزه آبخیز صفارود است، قابلیت بیشتری برای مدیریت دارد. بنابراین با احداث جاده بر اساس شرایط منطقه و جلوگیری از احداث جاده‌های غیر اصولی و کاربری مناسب در این مناطق، می‌توان از تحریک و افزایش حرکت‌های توده‌ای در این گونه مناطق جلوگیری کرد.

با توجه به نمودار توزیع فراوانی کلاس‌های خطر به‌دست آمده برای حرکت‌های توده‌ای، که دارای روند افزایش گسیختگی از کلاس‌های بی‌خطر به کلاس‌های باخطر زیاد می‌باشد، می‌توان به این نتیجه رسید که روش آماری چند متغیره، روشی مناسب جهت پهنه‌بندی خطر حرکت‌های تـوده‌ای در حـوزه آبخیـز صفارود می‌باشد.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

منابع

۱- احمدی، ح. محمدخان، ش. ۱۳۸۱. بررسی برخی از عوامل حرکت‌های توده‌ای (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)، مجله منابع‌طبیعی ایران، جلد ۵۵، شماره ۴، صفحات ۴۵۵ تا ۴۶۴.

۲- حسن‌زاده، م، ن. ۱۳۷۹. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز شلمانرود، پایان‌نامه کارشناسی-ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران

۳- سفیدگری، ر. ۱۳۸۱، ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش درمقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (مطالعه موردی حوزه آبخیزدماوند)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران.

۴- شادفر، ص. یمانی، م. قدوسی، ج. غیومیان، ج. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چالکرود تنکابن)، مجله پژوهش و سازندگی، جلد ۲۰، صفحات ۱۱۸ تا ۱۲۶.

۵- فیض‌نیا، س. کلارستاقی، ع. احمدی، ح.۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه-بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیرین رود- سد تجن)، مجله منابع‌طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۱، صفحات ۳ تا ۲۰.

۶- کورکی‌نژاد، م. ۱۳۸۷ ارائه مدل منطقه‌ای جهت پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای (مطالعه موردی: حوزه آبخیز الموت رود)، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

۷- معتمدوزیری، ب. ۱۳۸۷. حرکت‌های توده‌ای زمین، جزوه درسی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ۸۶ صفحه.

۸- مهندسین مشاور خزر، ۱۳۷۳. مطالعات توجیهی اجرایی طرح آبخیزداری حوزه آبخیز صفارود، سازمان جهاد سازندگی مازندران، مدیریت آبخیز.

9- Chang, K.T., S.H. Chiang and M.L. Hsu, 2007. Modeling typhon and earthquake induced landslides in a mountainous watershed using logistic regression, Geomorphology, Vol:89, PP:335-347

10- Dymond,J.R., A.G.Ausseil, J.D.Shepherd and L.Buttner, 2008. Validation of a region-wide model of landslide susceptibility in the Manawatu-Wanganui region of New Zealand, Geomorphology, Vol:74,PP:70-79.

11- Kamp, U., B.J. Growley, G. Khattak and L.A. Owen, 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region, Geomorphology, Vol:101, PP:631-642

12- Motamedvaziri, B. and Koorkinejad, M., 2006. The applicability of Mora-Vahrson landslide hazard zonation model in the Ciaroodbar watershed, Proceeding of the international symposium , 4-7 september 2006, Ghent, Belgium, PP: 91-97

13- Nefeslioglu, H.A, C. Gokceoglu and H. Sonmez, 2008. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps, Engineering Geology, Vol:97, PP:171-191

14- Neuhause, B. and B. Terhorst, 2006. Landslide susceptibility assessment using weights of evider applied to a study area at the Jurassic Escarpment (SW-Germany), Geomorphology, 1-13

15- Tangestani, M.H., 2009. A comparative study of Dempster-Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros mountains, Sw Iran

16- Yalchin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierachy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisions of results and confirmations,Catera, Vol:72, PP:1-12

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com